

ИЗ ИСТОРИИ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. А. ВОСКРЕСЕНСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры начертательной геометрии и графики)

Вопросы построения аксонометрических изображений и их развития занимают большое место в теории и практике инженерной графики. Автором ранее, в 1959—1960 гг., были опубликованы статьи, касающиеся развития этого вида проекций [1, 2].

В настоящей работе ставится задача дать более подробный путь последовательного совершенствования аксонометрии и показать примеры ее практического использования преимущественно в дореволюционный период.

Краткие исторические очерки, имеющиеся в учебных курсах начертательной геометрии и технического черчения, а также в некоторых диссертациях по инженерной графике, недостаточно подробно говорят об аксонометрии и не исследуют особенности ее развития.

Сведения об истории аксонометрических изображений, которые имеются в сочинениях [3, 4, 5, 6, 7], не могут претендовать на глубокое научное исследование настоящего вопроса, так как представляют собой последовательный перечень основных работ по аксонометрии и не дают должного представления о тех успехах, которые достигнуты в этой области.

В связи с этим настоящая работа имеет цель восполнить существующий пробел в данном вопросе и показать развитие, особенности и значение аксонометрических проекций.

Прежде чем говорить об аксонометрическом методе, возникшем с развитием машинного производства, потребовавшего сочетания наглядности с удобством измерения вычерчиваемого объекта, следует остановиться на наглядных графических изображениях, послуживших предпосылками для теоретически обоснованных, геометрически правильных аксонометрических чертежей.

Доаксонометрические изображения появились еще в глубокой древности, когда людям хотелось выразить свои мысли с помощью рисунков, выполнявшихся весьма примитивно.

Появление первых чертежей, используемых при строительстве, относятся к XVII веку, причем, как указывает И. Е. Забелин [8], они, «хотя и деланные от руки, по глазомеру, составлялись в то время по случаю каждой постройки».

Н. Н. Воронин [9] отмечает, что «раньше всего, чертеж как отвлеченное и масштабно-уменьшенное изображение, перенесенное на бумагу, проявилось для фиксации речных и сухих путей, а также «границ», «рубежей» — типичная географическая карта».

Особенностью первых планов карт является наглядность при изображении местности, городов и отдельных зданий, часто из нескольких точек зрения и различными методами проектирования как центральным, так и параллельным. Такой способ изображения перенесен из иконописного искусства. В сочинении [9] отмечается, что в поисках квалифицированных чертежников обращались к иконописцам, считая, по-видимому, что составить планы здания и города — это, прежде всего, дать наглядное представление о том или ином объекте. Но эти изображения ни в коем случае нельзя было считать аксонометрическими в том смысле, в каком мы понимаем их сейчас.

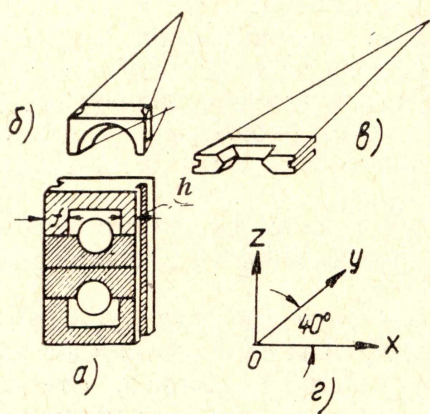
Начало XVIII века — начало эпохи так называемых «петровских преобразований» замечательно тем, что Россия впервые за всю ее историю сделала попытку занять место в торговле и промышленности среди опередивших ее стран Западной Европы.

Укрепление обороноспособности страны, строительство морского флота потребовали усиленного развития горнометаллургической промышленности, которая в этот период создавалась на Урале, представлявшим, как отмечал В. И. Ленин [10], «оригинальный строй промышленности, базирующийся на крепостном праве, которое в XVIII веке служило основой процветания Урала и господства его не только в России, но отчасти, и в Европе... в эпоху зачаточного развития европейского капитализма».

О планировке уральских заводов, их оборудовании, технологических процессах уже в XVIII веке были составлены подробные описания, снабженные чертежами и рисунками. Из них наиболее полными являются: «Описание Сибирских горных заводов» (1735 г.) [11], «Описание с чертежами горным заводам и рудникам в России» [12], выполненное в 60-х годах XVIII столетия. В этих описаниях имеются серии

графических изображений, представляющих виды заводов, цехов и их оборудования. Рассматривая их, мы получаем полное представление об отдельных участках производства, его технологии и т. п.

В серии рисунков 1735 г. мы видим, что почти к каждому чертежу, выполненному в ортогональных проекциях, сделано пояснение в виде наглядного изображения, которое в большинстве случаев из-за безмасштабного построения нельзя отнести к аксонометрическим. На фиг. 2 показана выкопировка из чертежа «прокатного стана» (фиг. 2), представляющая собой вычерченное в параллельной проекции



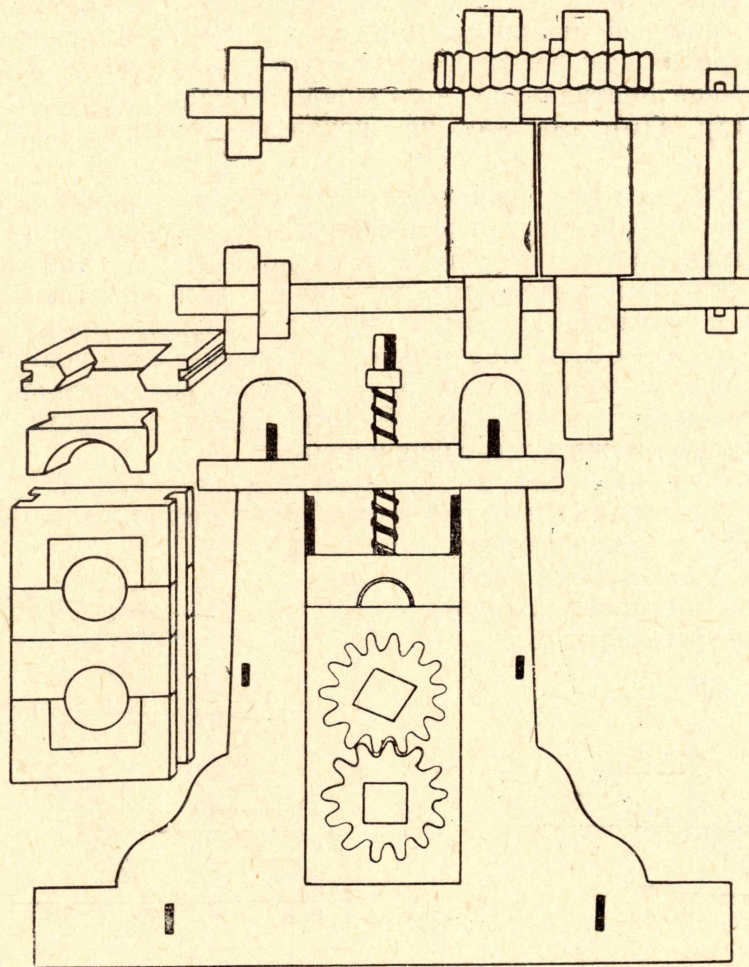
Фиг. 1

устройство подшипников, причем габаритные размеры их взяты с ортогонального чертежа.

Если построить аксонометрические оси, то получим правильную косоугольную фронтальную изометрию. Угол наклона оси OY к оси OX будет 40° . Выше над этим изображением нарисованы деталь рамы подшипника (фиг. 1, в) и верхний вкладыш в центральной проекции (фиг. 1, б), хотя последний (как видно из схематического построения) исполнен неверно. Следует сделать замечание, что при рисовании в параллельной проекции подшипникового устройства не соблюдалось точное соотношение конструктивных размеров. Так, например, на фиг. 1 размер $f > n$ (хотя они должны быть, по-видимому, одинаковы). То же

можно сказать и относительно ортогональной проекции. Чувствуется, что указанным масштабом пользовались для построения основных, габаритных частей деталей, а мелкие участки брались «на глаз» без определенной точности.

То же самое можно наблюдать и во втором «описании», так называемой «Шлаттеровской серии», сохранившейся только в одном экземпляре в архиве Государственного Географического общества АН СССР в Ленинграде. Однако по характеру исполнения качество рисунков последней выше, чем в предыдущей серии («Геннинской»).



Фиг. 2

Наглядные изображения у Шлаттера в большинстве выполнены в параллельной косоугольной проекции, и некоторые из них можно отнести к параллельной косоугольной фронтальной проекции типа изометрической, так как размеры по трем взаимно перпендикулярным направлениям соответствуют размерам на плане, вычерченном с соблюдением масштаба. Недостатком в отдельных рисунках является изменение направления проектирования при изображении цеховых труб. Верхний обрез трубы показан так, как художник привык видеть, глядя на нее снизу (в то время как цех представлен видом сверху). Если бы исполнитель не сделал такой грубой ошибки, то чертеж можно было бы считать вполне аксонометрическим, как, например, известный «перспективный вид» Барнаульского завода, собственноручно выпол-

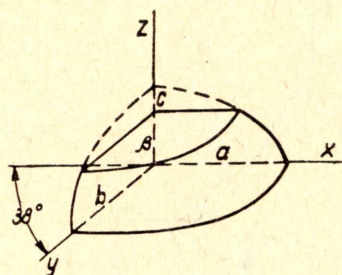
ненный изобретателем И. И. Ползуновым в 1751 г. [13] и представляющий изометрическую фронтальную проекцию.

За границей во второй половине XVIII века появляются первые попытки дать теоретическое обоснование способу параллельного проектирования. Надо сказать, что практически метод параллельного проектирования с целью получения наглядных изображений нашел большое применение в то время в вопросах фортификации.

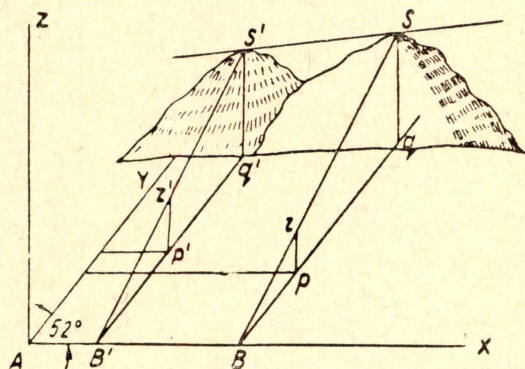
В качестве примера можно сослаться на работу Н. Курганова [14], опубликованную в 1777 г. на основании иностранных источников. В ней автор приводит объяснение «военной перспективы (cavalier)», правила которой «... употребляются для снятия и начертания видов крепости» при рассмотрении ее с бесконечного расстояния. Такая перспектива значительно проще центральной, но «изрядно представляет фортификации, рисунки» (стр. 176), так как не искажает размера изображаемых предметов.

Как показало изучение старых чертежей и литературных источников того времени, «военная перспектива» при изображении технических деталей применения не получила, надо полагать, по той причине, что отдельные станки и механизмы получились в неестественном виде по отношению к зрителю, который обычно небольшие предметы привык рассматривать с высоты нормального человеческого роста, тогда как большие площади принято наблюдать с более возвышенной точки зрения, с целью охватить весь участок строящейся крепости, города или другого крупного инженерного сооружения.

В 1817 г. вышла в свет книга инженер-полковника А. Маюрова [15], который, излагая аналитическую геометрию и дефилирование крепостей, использовал для пояснения косоугольные фронтальные изображения, в частности для $1/8$ части эллипсоида (фиг. 3).



Фиг. 3



Фиг. 4

Рассматривая вопросы дефилирования крепостных сооружений, А. Маюров предложил, в отличие от иностранных авторов, использовать теорию косых поверхностей. На фиг. 4 показан наглядный чертеж во фронтальной косоугольной проекции. Угол, образуемый осью Y с осью X равен 52° . Здесь можно видеть, что косая поверхность получается «от движения прямой линии, проходящей через все точки линий SS' и AX и перпендикулярной к оси X » (стр. 217). Эта поверхность образована направлением «неприятельских выстрелов с цепи гор, направленных на линию « X », которая считается пределом, до которого «выстрелы противника наносят поражение». Построив такую поверхность, ограничивающую поражаемое огнем пространство, можно относительно ее строить предполагаемое укрепление, находя в любом месте соответствующую «высоту хребта брустверов».

Надо сказать, что применяемые в технической литературе наглядные изображения в параллельной проекции не всегда можно было считать аксонометрическими и их следует относить к рисункам.

Первым сочинением, положившим начало теории аксонометрии в России, является статья инженер-полковника А. Х. Редера, опубликованная в «Журнале Главного Управления Путей Сообщения и Публичных зданий» (1855 г., № 1). На фоне существовавших за границей работ упомянутая статья не могла служить чем-то новым и оригинальным в исследовании изометрии, тем более, что автор, как отметил профессор В. И. Курдюмов, при составлении статьи использовал материал из книги Möllinger'a (1840). Тем не менее заслугой А. Х. Редера является то, что он впервые в России опубликовал необходимые правила построения проекций, наиболее удобные для техников. В 1861 г. с некоторыми дополнениями работа А. Х. Редера вышла отдельной книгой [16]. Автор не ограничился точным переводом книги Möllinger'a, а самостоятельно рассмотрел ряд задач на практическое приложение изометрии, как-то: построение октаэдра, теней, кривых поверхностей. Кроме того, он составил программу по изометрическим проекциям, впоследствии включенным в курсы начертательной геометрии в качестве ее приложений, хотя сам А. Х. Редер читал изометрию как особый способ изображений. Его книга была наиболее полным печатным руководством по изометрическим проекциям до 1885 г., когда появились подобные работы у Н. И. Макарова и В. И. Курдюмова.

Что касается других видов аксонометрии: диметрии и триметрии, то для них были выведены основные формулы, определяющие величину показателей искажения и углов между осями. Автором этих выводов был профессор Московского университета Ф. Е. Орлов, читавший курс начертательной геометрии в конце 70-х годов XIX века. Рассматривая различные виды прямоугольной аксонометрии, профессор Ф. Е. Орлов высказал мысль о том, что ортогональные проекции предмета на инженерно-строительных чертежах представляют не что иное, как частный случай аксонометрических проекций, причем, если аксонометрическая плоскость P параллельна фронтальной плоскости проекций, то получается главный вид или главный фасад, в остальных двух случаях получается боковой вид или боковой фасад и, наконец, план.

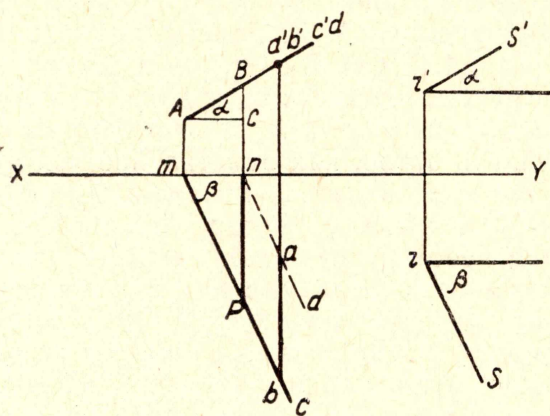
Большим недостатком первых работ по изометрии является отсутствие практических примеров на построение технических деталей, узлов или сооружений. Предлагаемые задачи у А. Х. Редера, Н. И. Макарова, Ф. Е. Орлова и др. сводились к построению геометрических фигур.

Как уже упоминалось выше, еще до появления первых теоретических сочинений в России по прямоугольной изометрии практически применялись параллельные фронтальные и горизонтальные косоугольные проекции, хотя вопросы их теории до конца XIX века в технической и учебной литературе не рассматривались.

В 1896 г. профессор В. И. Курдюмов писал, что «по вольной перспективе, или косоугольной проекции на русском языке мы имеем только одно сочинение: III отдел 2 выпуска «Курса геометрического черчения» А. Маккавеева, изданное в 1890 г. В сочинении этом рассматривалась только одна практическая сторона вопроса — построения изображений, теория же косоугольных аксонометрических проекций обойдена молчанием» [17] (стр. XXXVI).

Нами было обнаружено, что еще до появления работы А. Маккавеева попытку теоретически обосновать метод параллельного косоугольного проектирования осуществил в небольшой статье А. Фролов [18] (стр. 12—18) в 1884 г., где он отметил, что большое распространение косоугольных проекций на практике и при изучении стереометрии вы-

зывает необходимость в обязательном знании научных основ «этого рода проектирования». А. Фролов подчеркивает, что «плоскость P косоугольной проекции всегда должна предполагаться вертикальной». При



Фиг. 5

этом прямые, расположенные параллельно этой плоскости, проектируются без искажения, а отрезки линий, перпендикулярные к плоскости P , будут наклонены к горизонту. Доказав зависимость величины проекции отрезка, перпендикулярного к плоскости P от направления проектирования, автор рекомендует изображать такие прямые вдвое меньшей длины, наклонные к горизонту под углом 30° . На фиг. 5 даны ортогональные проекции прямой AB (ab , $a'b'$). Требуется построить ее косоугольную проекцию. rs , $r's'$ — направление проектирования.

$$mn = np \cdot \operatorname{ctg} \beta = ab \cdot \operatorname{ctg} \beta.$$

Из $\triangle ABC$ имеем

$$\begin{aligned} AB &= \frac{AC}{\cos \alpha} = \frac{mn}{\cos \alpha} = \frac{ab \cdot \operatorname{ctg} \beta}{\cos \alpha} = ab \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\cos \alpha} = ab \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \\ &= \frac{ab}{\sin \alpha}. \end{aligned}$$

Положив $\frac{\operatorname{ctg} \beta}{\cos \alpha} = \frac{1}{2}$ и приняв $\angle \alpha = 30^\circ$, найдем

$$\cos \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{3}, \quad \operatorname{ctg} \beta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{4} \sqrt{3},$$

$$\angle \beta = 66^\circ 35' 12,4''.$$

В последующих чертежах А. Фролов полагает, что α и β имеют такие значения, и поэтому косоугольную проекцию отрезка прямой, перпендикулярной к плоскости проекций, рекомендует изображать отрезком вдвое меньшей длины, наклоненным к горизонту под углом 30° .

Далее в § 6 помещены задачи на построение косоугольных проекций различных геометрических фигур: прямоугольника, многоугольника, параллелепипеда, пирамиды, здания, окружности, цилиндров, шара, конусов. Ввиду своей краткости, статья А. Фролова не получила широкого распространения и не была отмечена современниками (в частности, проф. В. И. Курдюмовым).

Вопросы построения правильных наглядных и вполне измеримых изображений в связи с ростом техники и промышленности в 80—90 гг. XIX века заставляют обратить внимание ученых на теоретические работы в области аксонометрии.

Спустя 30 лет со времени опубликования статьи А. Х. Редера, вышла работа В. И. Курдюмова [19]. В предисловии 6 января 1885 г. говорится, что «цель настоящей статьи пополнить пробел в новейшей технической литературе кратким изложением метода изометрических проекций» (стр. 3). Характерной чертой работы В. И. Курдюмова является

использование изометрии для практических целей (чего нельзя отметить у А. Х. Редера).

Работая в качестве инженера путей сообщения на Кавказе, В. И. Курдюмов был вынужден при пояснении рабочим чертежей прибегать к изометрическим проекциям, причем для более быстрого построения применил заранее разлинованную бумагу, так называемую «изометрическую клетчатку», образчик которой он и опубликовал в названном выше сочинении.

Его книга получила соответствующую оценку современников. В № 12 журнала «Инженер» за 1885 г. на стр. 531 появилась рецензия *L.L.*, который писал: «...для большей ясности приходится очень часто при составлении изображений более сложных предметов прибегать к наглядному перспективному рисунку или изометрическому чертежу, соединяющему в себе наглядности перспективного рисунка с свойством чертежа ортогональных проекций, давать непосредственные размеры предмета, хотя впрочем лишь в трех определенных направлениях, ...краткость изложения, равно как отчетливые чертежи делают эту книгу доступной для каждого, кому не чужды основания элементарной математики, а изометрическая клетчатка, придуманная г. Курдюмовым, значительно облегчает составление изометрических чертежей».

Одновременно с выходом работы В. И. Курдюмова 23 января 1885 г. появилось сочинение проф. Н. И. Макарова [20], где во втором разделе был помещен способ изометрических проекций, составленный по литографированным запискам. В отличие от метода проектирования В. И. Курдюмова, который располагал картинную плоскость перпендикулярно диагонали куба, профессор Н. И. Макаров предложил проектировать систему координатных осей с отнесенным к ним предметом ортогонально на плоскость, пересекающую все три оси координат и равнонаклоненную к ним.

Большим недостатком в его работе является отсутствие примеров на построение технических деталей и узлов. Несмотря на это курс лекций Н. И. Макарова по изометрическим проекциям являлся довольно подробным руководством для построения наглядных изображений предметов, заданных в ортогональных проекциях и, наряду с работой В. И. Курдюмова, использовался в качестве учебного пособия во многих институтах того времени.

Самым крупным и наиболее полным сочинением по аксонометрии в России считался труд профессора В. И. Курдюмова [21], напечатанный в 1892 г. Необходимо отметить, что эта работа была опубликована на 4 года ранее, чем вышел его курс начертательной геометрии [17], так как острая необходимость в разработке соответствующей теории параллельных проекций и исследований различных видов ее (помимо изометрии) заставила автора, прежде всего, написать этот важный отдел.

Сочинение В. И. Курдюмова замечательно по характеру изложения и глубокому анализу применения различного вида аксонометрических проекций. На протяжении всего курса он стремился показать возможности использования аксонометрических проекций для «узкопрактических целей» и предлагал при пояснении отдельных узлов машин и строительных конструкций пользоваться аксонометрическими эскизами.

К недостаткам работы следует отнести недооценку общетеоретических вопросов аксонометрии и отсутствие описания состояния ее в заграничных работах. В частности, нет упоминания об основном предложении аксонометрии — теореме Польке, вызвавшей, как известно, за гра-

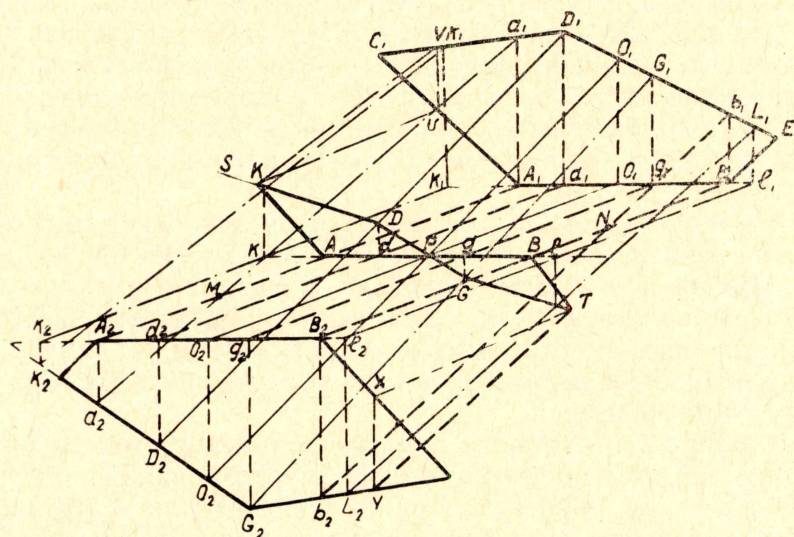
ницей обширную литературу. Обратив все внимание на практическую сторону аксонометрии, В. И. Курдюмов не дал достаточной научно-теоретической базы и не показал перспективы дальнейшего развития и использования аксонометрических проекций.

Работа В. И. Курдюмова, несмотря на отмеченные недостатки, долгое время служила единственным, наиболее полным руководством для многих поколений инженеров и вследствие простоты и удобства изложения материала даже в настоящее время является пособием при изучении теории и практики аксонометрических проекций.

Профессор В. И. Курдюмов, читавший в Петербургском институте инженеров путей сообщения, кроме курса начертательной геометрии, курс строительных работ, показал применение аксонометрических проекций для интерполирования земляных профилей.

«Интерполирование профилей, — писал он, — можно производить, пользуясь ортогональными проекциями или аксонометрическими косоугольными. Пользование косоугольными проекциями удобнее, в смысле большей наглядности изображений форм отдельных частей рассматриваемого земляного тела» [22] (стр. 144).

Для этой цели он решает задачу в косоугольной фронтальной изометрии, взяв два смежных поперечных профиля в системе проекции на плоскость Q параллельно этим профилям и проекцию оси полотна O_1O_2 , параллельную в свою очередь оси OY , составляющей угол в 20° к оси OX , при показателе искажения, равном 1 (фиг. 6).



Фиг. 6

Прежде всего он находит проекции точек O_1 и O_2 на поверхности земли (o_1 и o_2). Соединив O_1 и O_2 между собой, получаем точку пересечения $O_1O_2 \times o_1o_2 = P$, представляющую «проекцию точки перехода оси». Расстояния O_1P и O_2P определяют линию отметки точек «P» относительно сложных профилей. Через эту точку и должна пройти плоскость теоретического профиля, причем $AB \parallel A_1B_1$, так как плоскость теоретического профиля параллельна плоскости данных профилей. Затем определяет точки пересечения профилей D и G , проводя секущие плоскости через эти точки параллельно плоскости $O_1o_1Po_2O_2$. Точки D и G , ($dD \times D_1D_2 = D$, $gG \times G_1G_2 = G$) являются точками перелома в теоретическом профиле.

Построив линии откосов AK и GL до пересечения с DK и BT , получаем теоретический профиль полунасыпи $PACD$ и полувыемки $PBTG$.

Точки M и N перехода бровок полотна A_1A_2 и B_1B_2 получаются при пересечении линий a_1a_2 и b_1b_2 с A_1A_2 и B_1B_2 . В точке M должна быть закончена дополнительная выемка земли, а в точке N — дополнительная насыпь.

Работы профессора В. И. Курдюмова по теории аксонометрии и применении последней к инженерно-строительному делу послужили началом для дальнейшего использования аксонометрических проекций в различных областях науки и техники.

Ученик В. И. Курдюмова, впоследствии профессор, Н. А. Рынин ряд своих работ посвятил помимо изложения теории аксонометрии широкому применению ее на практике. Анализируя аксонометрические проекции, он сделал вывод, что в отношении наглядности они стоят на втором месте после перспективы, однако, это несколько не уменьшает их достоинств, вследствие сохраняющегося удобства измерения.

Работы Н. А. Рынина в начертательной геометрии, в особенности по вопросам, касающимся ее значения и методов применения в науке и технике, послужили началом дальнейших исследований в этой области.

В 1911 г. профессор П. М. Леонтовский [23] отметил, что для детального представления части горной выработки «можно рекомендовать изображение ее в аксонометрических проекциях».

Большой вклад в развитие теории аксонометрии внес профессор Е. С. Федоров (хотя слово «аксонометрия» он не употреблял), исследовавший косые и векториальные проекции в работах [24, 25], опубликованных соответственно в 1907 и 1917 гг. Однако идеи его по исследованию таких проекций нашли широкое распространение лишь в годы Советской власти.

В то время, как в России во второй половине XIX века и в начале XX века появились работы по аксонометрии, преследующие «узкопрактические цели», за границей продолжали совершенствоваться теоретические вопросы аксонометрических изображений, приведшие к новому доказательству основной теоремы аксонометрии Шварцем, Шуром и др., к открытию теоремы центральной аксонометрии Э. Круппа [26] в 1910 г., о которой в работах наших ученых не упоминалось, а также к исследованию аксонометрии многомерного пространства [27].

Рассмотрев состояние теории и практики аксонометрии в досоветский период, можно сделать следующие выводы:

1. Первые графические изображения, появившиеся в глубокой древности, представляли в большинстве своем весьма примитивные рисунки, отображавшие различные события из жизни людей, такие как сцены охоты, битвы, виды орудий труда, оружия и т. п.

2. С ростом науки и культуры совершенствовались и методы изображений, причем в западных странах в этом направлении были сделаны значительные успехи, завершившиеся к XVI веку созданием теории построения наглядных изображений, получившей название перспективы.

3. В нашей стране, вследствие особых условий ее общественно-экономического развития, графическое искусство шло своим самобытным путем, что сказалось в дальнейшем не только на русской живописи, но и на инженерной графике XVIII столетия, когда Россия вступила на путь развития промышленного производства.

4. В чертежах-рисунках XVI—XVIII вв. наряду с ортогональными чертежами в качестве пояснения использовались наглядные изображения, зачастую в косоугольной параллельной проекции, причем в зависимости от исполнителей, некоторые из них делались с соблюдением масштаба, что позволяет отнести их к аксонометрическим и тем самым считать практическое использование последних значительно ранее, чем

возникли теоретические обоснования этого способа построения проекций. В связи с этим нельзя согласиться с положением, высказанным А. А. Кузиным [6] (стр. 70), что аксонометрия стала применяться только в конце XIX и в начале XX веков. Правильнее, с нашей точки зрения, нужно было отметить, что в это время она получила более широкое распространение, обусловленное ростом машиностроительной промышленности.

5. Начиная со второй половины XIX в., в связи с последовательным развитием машинного производства, потребовавшего применения наглядно-масштабных изображений, появляются сочинения по аксонометрическим проекциям и, прежде всего, по изометрии.

6. Интересуясь приемами построения таких изображений, с одной стороны, и использованием их для практики — с другой, авторы упомянутых работ не дали глубоких (по сравнению с заграницей) теоретических исследований в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Воскресенский. Об основных направлениях развития аксонометрических проекций в СССР. Известия ТПИ, т. 104, 1959.
2. В. А. Воскресенский. Краткий очерк развития аксонометрии в Советском Союзе. Сб. «Вопросы теории, приложений и методики преподавания начертательной геометрии». Рига, 1960.
3. А. И. Александров. Из истории инженерной графики Урала и Сибири. Свердловск, 1959.
4. Н. М. Бескин. Основное предложение аксонометрии. (Вопросы современной начертательной геометрии, Сборник статей), М., 1947.
5. Ю. К. Вахтин. Русская школа инженерной графики. М., 1952.
6. А. А. Кузин. Краткий очерк истории русского чертежа. Учпедгиз, 1956.
7. Н. А. Рынин. Материалы к истории начертательной геометрии. Лгр, 1938.
8. И. Е. Забелин. Домашний быт московских царей. М., 1862.
9. Н. Н. Воронин. Очерки по истории русского зодчества. М.-Л., 1934.
10. В. И. Ленин. Развитие капитализма в России (соч. т. III, изд. 4-е). 1941.
11. В. Геннин. Описание сибирских горных заводов. Рукопись, Архив Государственного исторического музея, 1735.
12. Шлаттер. Описание с чертежами горным заводам и рудникам в России (рукопись, Архив Государственного Географического общества АН СССР, раздел 48, опись № 36).
13. В. В. Данилевский. И. И. Ползунов (труды и жизни). М., 1941.
14. Н. Курганов. Книга морской инженер. СПб, 1777.
15. А. Маюров. Высшая геометрия в пространствах или применение анализа в начертательной геометрии, с изложением теории и дефилирования крепостных строений. СПб, 1817.
16. А. Х. Редер. Об изометрической проекции. СПб, 1861.
17. В. И. Курдюмов. Курс начертательной геометрии. Проекция ортогональные. СПб, 1896, (Сб. Института инженеров путей сообщения, вып. XXXII).
18. А. Фролов. Дополнения к элементарной начертательной геометрии (в книге «Элементарная начертательная геометрия с чертежами в тексте и с задачами для самостоятельной работы учащихся». Для реальных училищ), СПб, 1884.
19. В. И. Курдюмов. Метод изометрических проекций. СПб, 1885.
20. Н. И. Макаров. Приложение к начертательной геометрии. 1. Способ проекций с дополнительными числами. 2. Способ изометрических проекций. СПб, 1885.
21. В. И. Курдюмов. Аксонометрия в прямоугольных и косоугольных проекциях или параллельная перспектива. Сб. Института инженеров путей сообщения, вып. XXIII, 1892.
22. В. И. Курдюмов. Материалы для курса строительных работ. Вып. 2, Земляные работы, изд. 2-е, СПб, 1898.
23. П. М. Леонтовский. О применении ортогональной, векториальной и аксонометрической проекций в маркшейдерских планах (Известия Екатеринбургского высшего горного училища), вып. II, 1911.
24. Е. С. Федоров. Точное изображение точек пространства на плоскости (Записки Горного института, т. I, вып. 1, СПб, 1907).
25. Е. С. Федоров. Новая начертательная геометрия (Изв. Российской Академии наук, IV серия, т. XI, Петроград, 1917).
26. E. Kupp a. Zur axonometrische Methode der darstellende Geometrie (Sitz, ber. der K. Ak. der Wiss. Mathematisch naturwissenschaftliche Classe. Abt. II a, Bd. 119, Heft 4, S. 487—506, Wien 1910).
27. P. H. Schoute. Mehrdimensionale Geometrie. I Teil. Leipzig. 1902.

ИСПРАВЛЕНИЯ И ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строки		Фиг.	Напечатано	Следует читать
	сверху	снизу			
21			1 нижн. угол слева		
23		14	—	φ_3 —48°35' (9)	φ_0 —48°35'
36		1	—	$f > n$	$f > h$
36		15	—	фиг. 2	фиг. 1
42		1	—	<i>PACD</i>	<i>PASD</i>
42		2	—	<i>GL</i>	<i>GT</i>
56		19	—	ТПИ	ГПИ
58	24	—	—	не собственную точку.	несобственную точку.
58	28—29	—	—	(прямого кругового)	прямого кругового
60	8	—	—	ММ и КК,	ММ ₁ и КК ₁
60	9	—	—	КК	КК ₁
60		10	—	$\kappa' \kappa'_1$.	$\kappa' \kappa'_1$.
60		18	—	вертикальной	фронтальной
61		7	—	вертикальной	фронтальной
66		16	—	$\frac{x^2}{R^2 \kappa_1^2} =$	$\frac{x^2}{R^2 \kappa_1^2} +$
68	19	—	—	Формула	Формулы
68		6	—	$= az$	$= 4 az$
73	6	—	—	$b^\kappa(0)$	$b_\kappa(0)$
76	—	7	—	2,0	1,0